Rejoignez l'Institut pour la transition énergétique
dédié à la recherche et à l'innovation pour l'éolien en mer

Stage Master 2/Ingénieur - Changement climatique et extrêmes océaniques : quelles projections pour l'éolien en mer et l'aquaculture ? (F/H/X)

Vous êtes à la recherche d'un stage au sein d'une structure à taille humaine, où l'innovation, la bienveillance et l'esprit d'équipe sont au cœur des projets ? France Energies Marines vous offre l'opportunité de contribuer à une recherche appliquée, reconnue par les acteurs du secteur et directement liée aux enjeux de la transition énergétique. Rejoignez-nous pour participer activement au développement d'une filière industrielle en plein essor… et construire ensemble le monde de demain !

L'institut France Energies Marines

France Energies Marines est un centre de recherche et d'innovation sur l'éolien en mer à l'impact industriel, économique et sociétal reconnu en France et à l'international.

Sa mission ? Lever les verrous auxquels est confronté le secteur de l'éolien offshore. Soutenu par l'Etat, porté par une équipe multidisciplinaire de plus de 90 collaborateurs, un réseau d'experts internationaux et des infrastructures uniques, l'Institut mène des projets de recherche multipartenariaux guidés par l'excellence.

Les résultats qui en découlent sont transférés à la filière sous la forme de prestations de recherche et d'expertise, de licences d'exploitation, de transfert de savoir-faire, ainsi que de participation à des comités d'experts et des réseaux.

Ces activités sont structurées autour de de quatre départements complémentaires : Dynamique du Vent et de l'Océan, Systèmes et Performance, Biodiversités et Interactions, Ecosystème et Société. Des services transverses viennent accompagner ces activités.

Contexte

Les parcs éoliens en mer sont conçus pour fonctionner plusieurs décennies, mais sont généralement dimensionnés à partir des conditions océaniques observées dans le passé. Or le changement climatique modifie l'océan : élévation du niveau de la mer, réchauffement des eaux et renforcement de la stratification, évolution de la circulation et des courants (Fox-Kemper *et al.*, 2021). Ces paramètres interviennent dans la conception et l'exploitation des parcs : vagues et courants pour les charges hydrodynamiques et l'affouillement, température et salinité pour la corrosion, la colonisation biologique des structures ou l'échauffement des câbles. Par ailleurs, les zones littorales, où se concentrent d'autres usages comme l'aquaculture, sont de plus en plus fréquemment exposées aux évènements extrêmes comme les vagues de chaleur marines qui correspondent à des épisodes prolongés de températures anormalement élevées de l'océan (Hobday *et al.*, 2016, Oliver *et al.*, 2018). Ces extrêmes peuvent fortement impacter les sites et la production aquacole (Smith *et al.*, 2021). Afin d'adapter ces secteurs socio-économiques côtiers vulnérables au changement climatique, il est nécessaire d'anticiper ces changements et de caractériser non seulement les tendances moyennes, mais aussi l'évolution des événements extrêmes à des échelles spatiales adaptées aux sites étudiés.

Les projections climatiques, notamment celles issues de l'exercice CMIP6 (*Eyring et al.*, 2016) utilisées dans les rapports du GIEC, constituent une source essentielle d'information sur l'évolution future du climat. Cependant, leur faible résolution spatiale et la représentation simplifiée sous-maille de certains processus océaniques limitent leur capacité à décrire finement les conditions locales, en particulier dans les zones côtières (Holt *et al.*, 2017). Des simulations régionales à plus haute résolution, obtenues par descente d'échelle dynamique, permettent d'affiner ces projections climatiques à une échelle locale, mais elles ont un coût numérique élevé et ne sont donc disponibles que pour un nombre limité de configurations qui ne permettent pas de quantifier systématiquement l'ensemble des sources d'incertitudes. La descente d'échelle statistique, qui repose sur l'apprentissage statistique de la relation entre la grande échelle et l'échelle locale à partir de différents jeux de données de simulations, y compris les réanalyses et les observations, constitue

une alternative bien moins coûteuse (Hobeichi *et al.*, 2023), mais dont la performance a été jusqu'ici relativement peu évaluée pour les variables océaniques et leurs extrêmes. Les mérites respectifs de ces deux approches pour décrire les extrêmes océaniques en zone littorale restent donc à établir.

Dans ce contexte, ce stage visera à répondre à deux questions scientifiques :

- Comment les conditions de température, salinité, et courants vont-elles évoluer à l'échelle locale sur le littoral français dans un contexte de changement climatique ? avec quelles incertitudes ?
- Dans quelle mesure les méthodes statistiques permettent-elles d'améliorer les projections climatiques océaniques à l'échelle côtière, et comment se comparent-elles aux approches dynamiques pour représenter les évolutions futures et les événements extrêmes ?

Porté par France Energies Marines, le stage proposé s'inscrit dans deux projets de recherche :

- 2C MORE, piloté par France Énergies Marines, qui vise à évaluer les impacts du changement climatique sur l'éolien en mer,
- ExTempCO, piloté par le Laboratoire d'Océanographie Physique et Spatiale (CNRS) dans le cadre du programme France 2030 Climat – TRACCS, est consacré à l'étude des vagues de chaleur marines dans les zones littorales avec une application à l'aquaculture.

Le stage portera sur l'analyse et l'amélioration des projections climatiques océaniques à l'échelle locale pour l'adaptation des secteurs socio-économiques littoraux concernés. Les variables d'étude se focaliseront sur la température, les courants et la salinité. Les travaux s'appuieront sur des chaînes de traitement Python existantes, développées au sein des équipes et de leurs partenaires, que le ou la stagiaire prendra en main, adaptera et complétera.

Description du stage

Le stage se déroulera en deux parties. **La première partie**, à dominante appliquée, consistera à analyser les projections climatiques disponibles et à caractériser les évolutions futures des variables océaniques. Elle comprendra les étapes suivantes :

- **Explorer les jeux de données climatiques** avec Python : projections CMIP6, produits Copernicus (C3S : Copernicus Climate Change Service, CMEMS : Copernicus Marine Service), simulations haute-résolution issues de projets connexes : SEACLIM, MEDIATION, RiOMar.
- **Analyser les évolutions futures** de la température, des courants et de la salinité sur des sites d'intérêt (sites éoliens, sites aquacoles), pour plusieurs scénarios climatiques et horizons temporels, et en dégager les tendances et les sources d'incertitude.
- **Interpréter et valoriser les résultats** au sein des deux projets : production de cartes et d'indicateurs caractérisant les conditions océaniques et leur évolution (percentiles, dépassements de seuils, fréquence et durée des événements extrêmes, etc.), rédaction d'une synthèse à destination d'un public scientifique et technique et préparation de supports de présentation. Selon les résultats obtenus, ces travaux pourront contribuer à une publication scientifique.

La seconde partie, davantage exploratoire, consistera à étudier l'apport de méthodes statistiques à la projection climatique de variables océaniques et de leurs extrêmes à l'échelle locale et s'appuiera sur les étapes suivantes :

- **Mettre en œuvre des méthodes de descente d'échelle statistique**, en s'appuyant sur des algorithmes existants. Pour cela, différentes méthodes statistiques seront formulées comme des problèmes d'apprentissage supervisé, allant de méthodes simples linéaires univariées, à des méthodes plus complexes, multivariées ou non linéaires, notamment fondées sur des réseaux de neurones artificiels (Bürger et al. 2012 ; Legasa et al., 2023).
- **Évaluer la performance de ces méthodes** en les comparant aux simulations de descente d'échelle dynamique, en examinant notamment leur capacité à représenter correctement les extrêmes en zone littorale, afin d'établir les apports, les limites et le coût de chaque approche.
- **Interpréter et valoriser les résultats** avec les experts des deux projets : rédaction d'une synthèse à destination d'un public scientifique et technique, supports de présentation, contribution possible à une publication.

Un encadrement scientifique de qualité sera proposé en étroite collaboration entre France Energies Marines et le Laboratoire d'Océanographie Physique et Spatiale (CNRS). Des collaborations sont également prévues avec le Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (CNRS) sur la seconde partie du stage. Le ou la stagiaire évoluera au sein de deux consortiums et aura la possibilité de contribuer à des publications scientifiques ou communications. Ce stage permettra de développer des compétences en analyse de données climatiques et océaniques, en programmation scientifique, en méthodes statistiques, en évaluation des incertitudes climatiques, et en production d'indicateurs d'aide à la décision pour les énergies marines renouvelables et l'aquaculture.

Profil et compétences

Formation initiale

Dernière année d'école d'ingénieur ou Master 2 avec spécialisation en océanographie, météorologie, climat, mathématiques appliquées, statistique, *machine learning* ou équivalent

Connaissances spécifiques

- Océanographie physique et climat
- Programmation scientifique (Python)
- Traitement de grands jeux de données

Les + :

Des connaissances en statistiques, *machine learning*, descente d'échelle ou en correction de biais, une pratique des bibliothèques Pandas, Xarray et Dask, ainsi qu'un intérêt pour les énergies marines renouvelables et les écosystèmes littoraux seraient un plus

Qualités professionnelles

- Rigueur scientifique et organisation
- Esprit d'analyse et de synthèse
- Autonomie
- Curiosité scientifique
- Compétences en communication
- Esprit collaboratif

Informations pratiques

Type de contrat	Stage
Durée	6 mois
Gratification	960 € brut mensuel (niveau Bac +5)
Lieu de travail	Siège de France Energies Marines - Plouzané (29)
Date de début	01/02/2027 (flexible)
Date limite de candidature	20/11/2026

Conformément à la règlementation, à compétences égales, la priorité sera donnée aux personnes en situation de handicap.

Modalités de candidatures

- Les dossiers de candidatures doivent être composés d'un **CV** et d'une **lettre de motivation.**
- Pour candidater, rendez-vous sur le **site web** de France Energies Marines à la rubrique **Nous rejoindre**.

N/Ref : FEM-SAS-2026-332 *Date : 29/10/2026*